

神都高千穂大橋の施工

九州支店 池田政司

概要：神都高千穂大橋は、一般国道218号高千穂バイパスの中間地点にあたり、周辺は天然記念物に指定されている『高千穂峡』の深いV字形渓谷を跨ぎ、急峻な地形と景観に配慮した橋長300.0m アーチスパン143.0mのPC補剛桁を有するRC逆ランガーアーチ橋である。同形式の逆ランガーアーチ橋では国内最大のアーチスパンとなる。また、アーチライズは、国内のコンクリートアーチ橋では最大の46.8mを誇り、スプリング部アーチリブの勾配は約60°に達している。アーチ径間部の架設方法は、逆ランガーアーチ橋では初のメラン材を併用してのトラス張出し架設工法を採用した。特殊移動作業車を用いて、補剛桁とアーチリブおよび鉛直材を、斜吊り材によりトラス構造を形成しながら、順次張出し架設を行った。

キーワード：逆ランガーアーチ橋、メラン材、トラス張出し架設、分離型ワーゲン



写真 - 1 トラス張出し架設状況

1. 工事概要

神都高千穂大橋の工事概要および橋梁諸元は以下のとおりである。

- ・工事名：宮崎218号新高千穂大橋(上部工)工事
- ・発注者：国土交通省九州地方整備局延岡工事事務所
- ・架橋位置：宮崎県西臼杵郡高千穂町大字押方～大字三田井
- ・工期：平成11年11月～平成15年1月
- ・道路規格：3種3級
- ・設計速度：V = 50 km/h



池田政司
PC事業部
技術部

- ・橋 格 : B活荷重
- ・構造形式 : PC連続箱桁を有するRC逆ランガーアーチ橋
- ・橋 長 : 300.0m
- ・アーチ支間 : 143.0m
- ・アーチライズ : 46.80m(左:53.80m 右:39.80m)
- ・補剛桁径間長 : 39.15m+40.00m+4@15.00m+30.00m+4@15.00m+35.00m+34.15m
- ・有効幅員 : 4.00m+2@3.75m+4.00m=15.50m
(歩道 + 車道 + 歩道)
- ・縦断勾配 : 2.00%
- ・横断勾配 : 1.50%

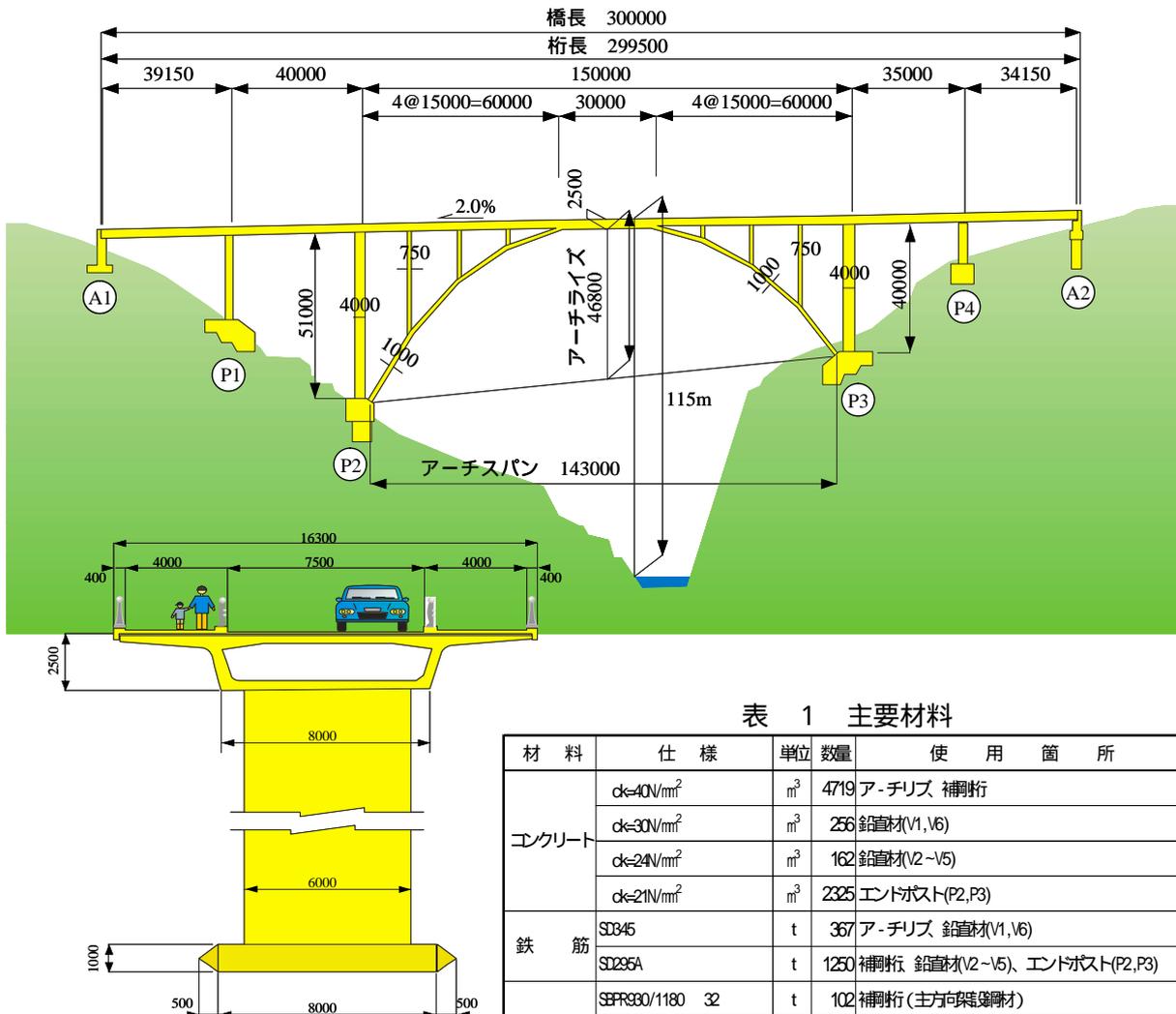


図 1 一般図

表 1 主要材料

材 料	仕 様	単 位	数 量	使 用 箇 所
コンクリート	ck=40N/mm ²	m ³	4719	ア-チリブ 補剛桁
	ck=30N/mm ²	m ³	256	鉛直材(V1, V6)
	ck=24N/mm ²	m ³	162	鉛直材(V2~V5)
	ck=21N/mm ²	m ³	2325	エンドポスト(P2, P3)
鉄 筋	SD345	t	367	ア-チリブ 鉛直材(V1, V6)
	SD295A	t	1250	補剛桁 鉛直材(V2~V5)、エンドポスト(P2, P3)
PC 鋼材	SBPR30/1180 32	t	102	補剛桁(主方向縦梁鋼材)
	S1PR7B 12S12.7B	t	34	補剛桁(主方向車輪鋼材)
	S1PR7B 4S12.7B	t	39	補剛桁(上床版縦梁鋼材)
	SBPR30/1180 32	t	8	補剛桁(せん断梁鋼材)
	SBPR30/1180 32	t	3	補剛桁(横行梁鋼材)
	SBPD30/1080 36, 32	t	29	斜吊り鋼材(総ネジPC鋼棒)
メラノ材	SI400Y, SI400	t	128	ア-チリブ
ガードアカ	F230TA	本	52	A1側-24本 A2側-28本

2. 構造形式の選定

架設位置の五ヶ瀬川沿いは、柱状節理となった阿蘇溶岩に代表される溶結凝灰岩が広く分布し、高千穂峡谷兩岸の路頭は国指定の名勝天然記念物に指定されている。したがって、森林の保護なら

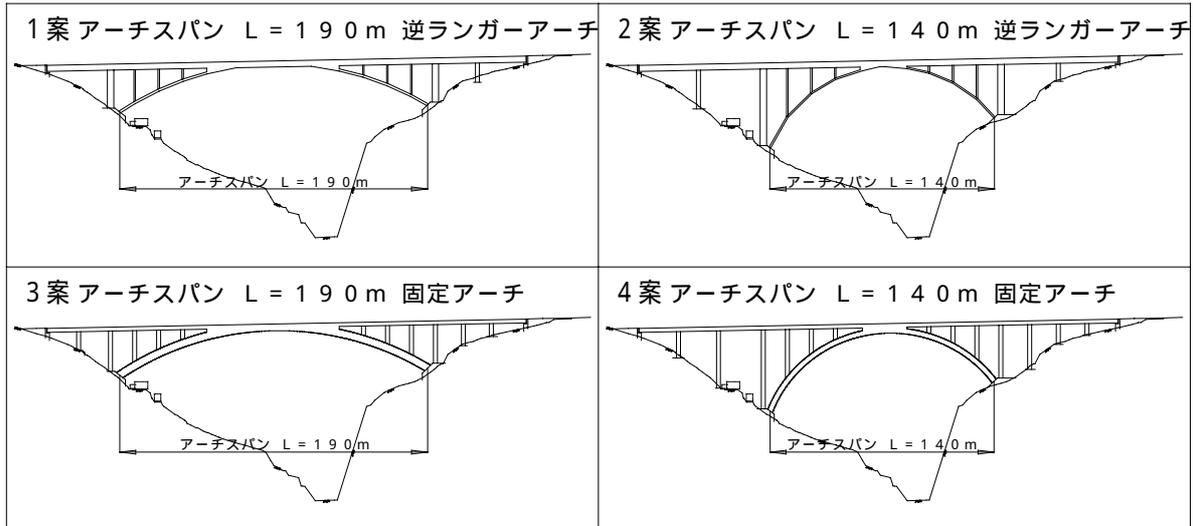


図 - 2 アーチ構造比較

びに岩石の排出を最小限に止める等、環境に配慮して橋梁構造形式の選定を行った。選定に当たっては、地域住民に対するアンケート調査、景観検討委員会も実施し、コンクリートアーチ橋に決定した。アーチ橋の構造形式については図 - 2 に示すように、4 案の比較検討を行った。1 案はアーチライズが小さく、曲げモーメントの影響が大きいため、一般的な逆ランガー橋のアーチリブ断面では、構造上で部材の設計が不適となる。3 案および 4 案は、2 案に比べ架設時の斜材量、アンカー量等、仮設材料が増加する。また、補剛桁の剛性が逆ランガー橋より小さく、側径間の橋脚数は多くなる。したがって、構造的、施工性、経済性の評価よりアーチスパン 140m クラスの逆ランガー橋に決定した。

アーチ軸線は、アーチリブおよび補剛桁断面力の比較検討により、パラメータ $m=3$ のハイパボリック曲線とした。この結果、スパンライズ比は 3.06 となり円弧状で丸みのあるアーチ形状となった。

補剛桁の断面形状は PC 箱桁を採用しており、幅員は 15.5m と広幅員となる。このような広幅員箱桁の場合は多室箱桁が一般的であるが、ウェブの省略による桁重量減のため、コンクリート体積、架設鋼材、斜吊り材、アンカー構造等の数量が減じる事による経済性、また架設時の施工性を踏まえて 1 室箱桁を採用した。

3. 施工

(1) 施工概要

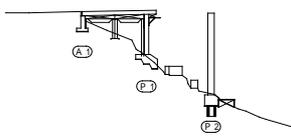
本橋の全体施工順序を図 - 3 に示す。上部工の施工はエンドポストより後方の側径間部から着手した。A1 - P1 径間、P3 - P4 径間、および P4 - A2 径間は、支保工施工とし、P2、P3 橋脚（エンドポスト）の施工も同時期に行った。現国道の上空を跨ぐ P1 - P2 径間は、両橋脚からの張出し架設によって、施工した。また側径間部施工と平行して両橋台後方にアンカー体を構築した。

アーチリブのスプリング部は支保工によって施工し、その後、メラン材を架設し、アーチリブワーゲンを組み立てた。補剛桁も、ワーゲンを組み立て、張出し架設を行った。中央閉合完了後、斜吊り材、およびアンカー体の解放・撤去を行い、最後に橋面工を施工して完成となる。

(2) メラン併用トラス張出し架設

トラス工法にて逆ランガータイプのアーチ橋を架設する場合、使用するワーゲンのタイプにより、一体型と分離型に分けられる。一体型は補剛桁とアーチリブを 1 つのワーゲンで施工するもので、

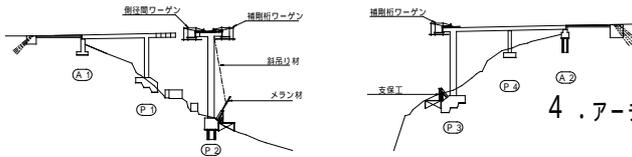
1. エンドポスト(P2,P3)および側径間の支保工施工



2. 補剛桁、柱頭部、側径間の施工およびアンカー体の施工



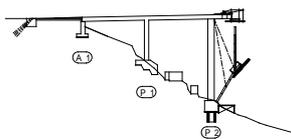
3. スプリング支保工施工およびメラン材の架設・補剛桁の施工



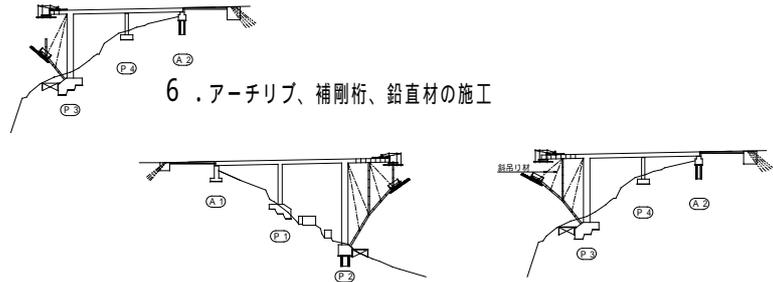
4. アーチリブ、補剛桁の施工、側径間閉合部の施工



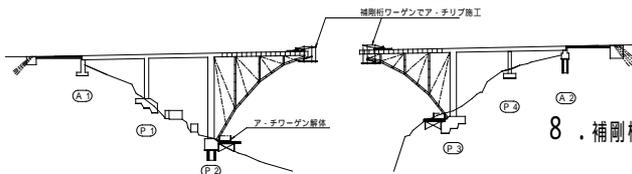
5. 鉛直材の施工



6. アーチリブ、補剛桁、鉛直材の施工



7. アーチワーゲンの解体・アーチリブ閉合部の施工



8. 補剛桁ワーゲン解体・中央閉合部の施工

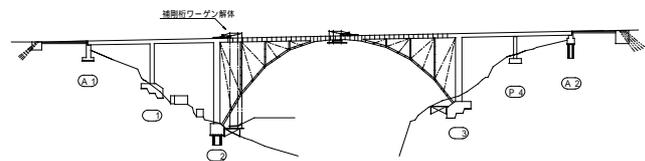
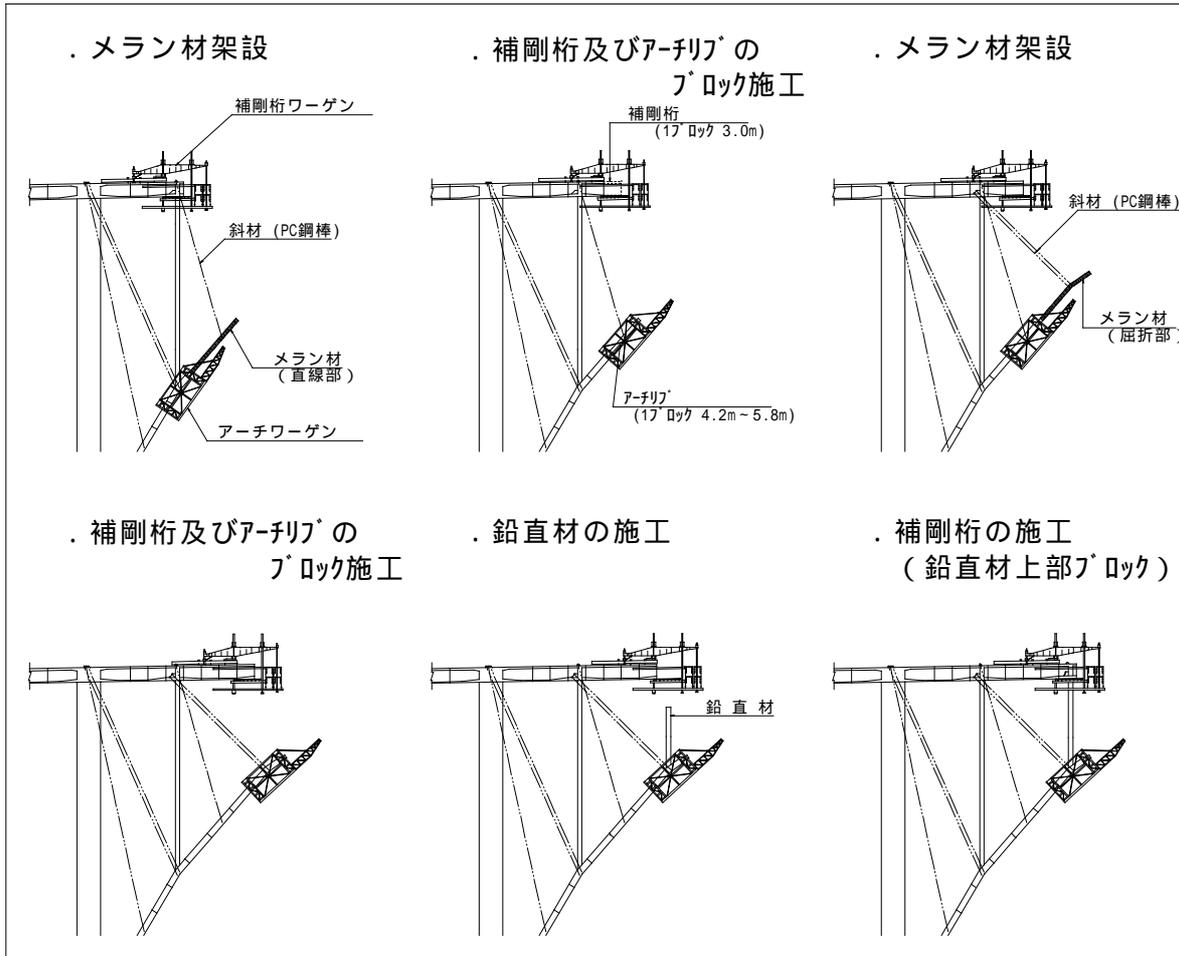


図 - 3 全体施工手順

分離型は補剛桁とアーチリブをそれぞれ別のワーゲンで施工するものである。逆ランガー橋の実績としては、双方あるが、近年では、分離型を採用した橋梁が増えている。本橋はアーチライズが極めて高く、一体型構造を採用した場合、補剛桁からアーチリブ用の型枠を吊り下げる構造となり、ワーゲン本体の設備が大きくなり重量が増加する。一方、分離型はワーゲン重量が小さくなることに起因して経済性に優位な形式となる。したがって、本橋では分離型構造を採用した。しかし、アーチリブを施工するワーゲンは移動時に、本体を支える構造が取りにくい為、不安定になりやすい。本橋では、斜吊り材によりメラン材を先行架設し、その上にアーチワーゲンを載せて、順次コンク



【メラン材の機能・役割】

- 型 枠 セ ッ ト 時 ≡ 鉄筋および型枠材の形状保持
- 打 設 時 ≡ コンクリート荷重および作業荷重
- ワーゲン移動時 ≡ ワーゲン走行軌道および引上げ用ジャッキの反力台

図 - 4 トラス張出し架設手順

リートで巻き立てる工法とした。

メラン併用トラス張出し架設の手順を図 - 4 に示す。

メラン材 (直線部) の架設を行い、斜材を設置し、張力を与えトラス構造を形成する。(1次調整)

桁およびアーチリブの張出し架設を行う。張出し施工回数は、メラン材1ブロックにつき上下ともに2ブロックとした。その後、部材の応力改善のため、斜材の張力調整を行う。(2次調整)

メラン材 (屈折部) の架設を行う。と同様に、斜材に張力を与える。(1次調整)と同様。

鉛直材を施工する。

鉛直材上部の補剛桁の施工。その後、斜吊り材によって部材の応力調整を行う。(2次調整)

～ を繰り返して、橋体の施工を進める。

標準的なアーチリブの施工サイクルを表 - 2 に、図 - 5 に施工ブロック分割を示す。

表 - 2 アーチリブの施工サイクル

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
メラン材架設	■																			
斜吊り材架設調整		■	■																	■
鉄筋工			■	■	■	■	■			■	■	■	■	■						
ワーゲン移動				■								■								
型枠工				■	■	■	■	■	■			■	■	■	■	■				
打設・養生										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

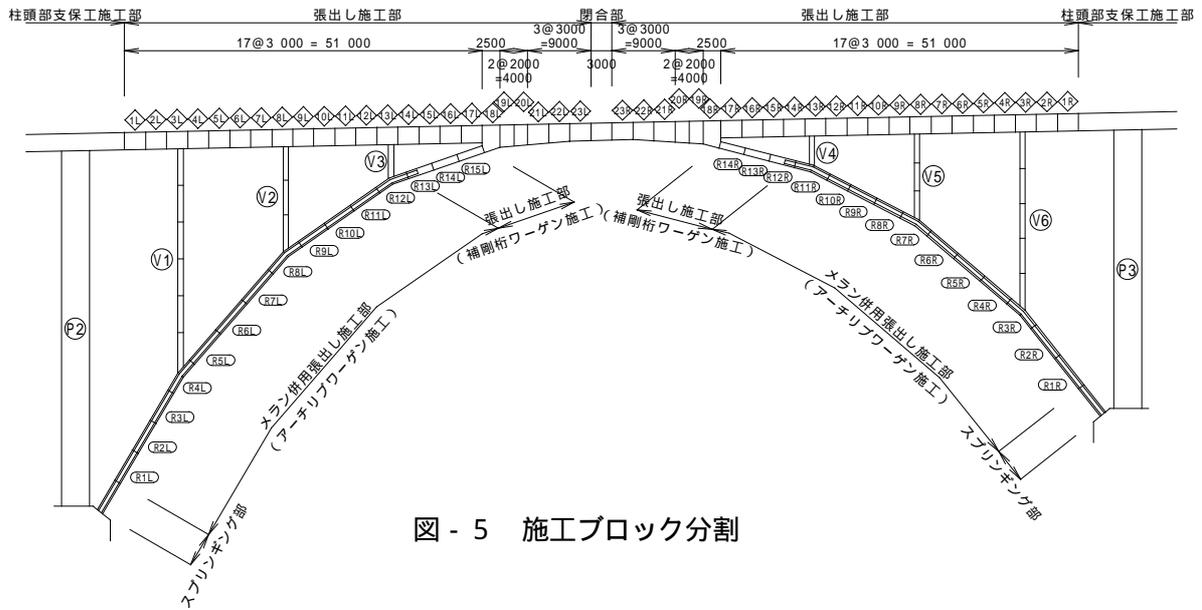


図 - 5 施工ブロック分割



写真 2 メラン材架設状況



写真 3 張出し架設

(3) 補剛桁の施工

a) 補剛桁ワーゲン

補剛桁は、柱頭部をブラケット支保工により施工し、支保工解体後、補剛桁ワーゲン(能力 3500kN・m、標準ブロック長 3.0m)を組み立て、張出し施工する。下段作業台および型枠の底版は、鉛直材施工のために、開閉可能な構造とした。表 - 3 に補剛桁ワーゲンの仕

表 3 補剛桁ワーゲンの仕様

能力	3 5 0 0 kN・m
施工ブロック長	3 . 0 m
施工幅員	1 6 . 3 m
メインジャッキ	1 2 0 0 kN × 3 0 0 s × 2 台
アンカージャッキ	7 0 0 kN × 3 0 0 s × 2 台
推進装置	電動機 1 . 5 kw × 2 台
油圧ポンプユニット	最高圧力 7 0 N/mm ² × 1 台

様を示す。

b) 型枠

補剛桁の型枠は、底板および側枠にはステンレスフォームを使用した。内枠は、ウエブの変化、定着突起および横桁の施工を考慮し、加工および組みが容易な合板型枠とした。

c) コンクリート

コンクリートはポンプ車を使用し、桁上を配管圧送した。早強セメントを使用し、施工性を考慮して、高性能AE減水剤（標準型）を用い、スランプ 12cm とした。配合表を表 - 4 に示す。

(4) アーチリブの施工

a) アーチリブワーゲン

アーチリブワーゲンは、スプリングングの施工完了後、アーチアバット前面の構台上で地組みを行い、メラン材からワーゲン前方を引き上げて、所定の位置にセットした。図 - 7 にワーゲン図を、表 5 にアーチリブワーゲンの仕様を示す。ワーゲンの移動は、メラン材に移動引上げジャッキ用の梁をセットし、センターホールジャッキにより、ゲビンデ鋼棒（32mm）を使用して、アーチワーゲンを引き上げた。

また、V3およびV4鉛直材より前方の施工は上下ワーゲンのクリアランスが確保できないため、アーチリブワーゲンを先に解体し、補剛桁ワーゲンを使用して、アーチリブの3ブロックの施工を行った。

b) 型枠

アーチリブの底板面は、補剛桁と同様にステンレスフォームを使用した。鉛直材間毎に、アーチリブの勾配が変化するため、屈折するブロックの施工に対応出来る構造としている。上面の押さえ型枠には、繊維型枠を使用し、表面あばたの防止および耐久性、美観の向上を図った。

c) コンクリート

打設は、橋脚に近い鉛直材のV1およびV6付近までは、ポンプ車のブームによって行い、その前方は、アーチリブ上を配管

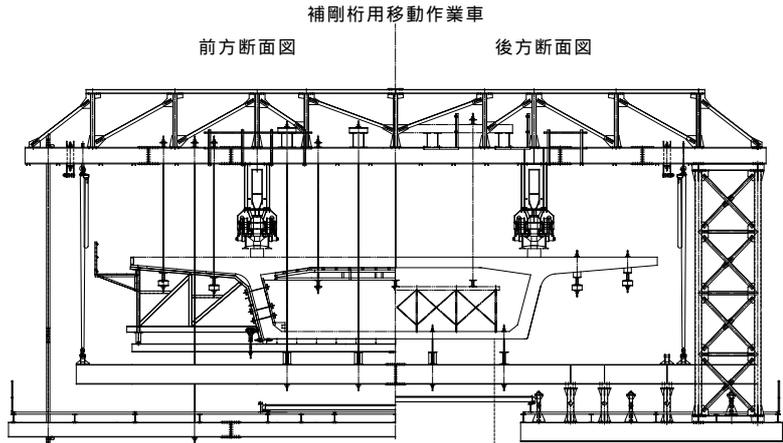
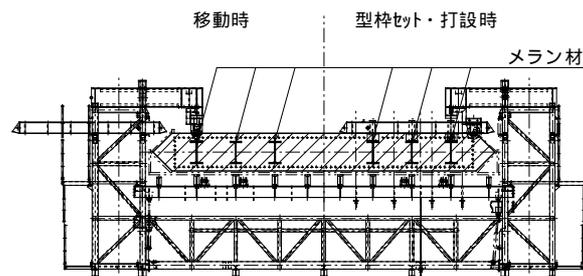


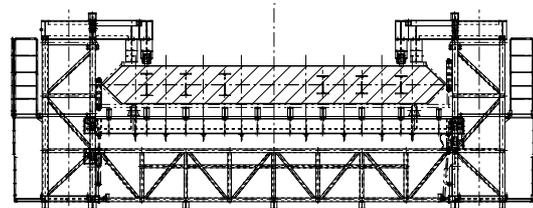
図 6 補剛桁ワーゲン

表 4 コンクリート配合

	補剛桁部	アーチ部
呼び強度	40	40
スランプ	12	15
粗骨材最大寸法 (%)	20	20
セメントの種類 (%)	H	H
水セメント比 (kg/m ³)	41.0	41.0
細骨材率 (kg/m ³)	42.8	42.8
単位セメント量 (kg/m ³)	371	371
単位水量 (kg/m ³)	152	152
細骨材量 (kg/m ³)	759	759
粗骨材量 (kg/m ³)	1043	1043
単位混和材 (kg/m ³)	4.01	4.23
混和剤の種類	高性能AE減水剤 (標準型)	高性能AE減水剤 (標準型)



前方断面図



後方断面図

図 7 アーチリブワーゲン

し、ポンプにより圧送した。コンクリートの配合は補剛桁と同様に、高性能 AE 減水剤（標準型）を使用し、スランプは 15cm の早強コンクリートとした。締固めには、フレキシブルバイブレーターと、底枠に設置した型枠振動機の併用にて行った。

表 5 アーチリブワーゲン仕様

フレーム	全長 18.4m × 幅 13.6m
最大施工ブロック長	5.7m
前方ジャッキ	500kN × 200s × 2台
推進ジャッキ	500kN × 150s × 2台
油圧ポンプユニット	最高圧力 80N/mm ² × 2台
型枠ジャッキ	59kN × 570s × 4台



写真 4 アーチリブの施工



写真 5 アーチリブ配筋

(5) 鉛直材の施工

鉛直材は、橋脚から片側 3 部材あり、全 6 部材で構成される。橋脚に近く部材長の長い、V1 および V6 鉛直材には、施工時の鉛直性を確保する目的で、部材に H 鋼材 (H400-2 本) を埋設して、コンクリートで巻き立て施工をした。コンクリートの配合も同様に、高性能 AE 減水剤（標準型）を使用し、スランプ 12cm としコンクリートの打設を行った。写真 - 6 は施工状況である。

(6) 斜吊り材

架設時の斜吊り材には、総ネジ PC 鋼棒 (SBPD930/1080) 32、および 36 を使用した。張力の上限設定は、従荷重の影響、施工誤差等を勘案し、安全率を含めた目標応力度を、 $p = 0.5 p_u$ とした。

ここに p : 主荷重による斜材応力度
 p_u : 斜材の引張応力度

張力管理は、荷重計による応力管理を行い、施工による張力誤差の許容値を $\pm 5\%$ とした。

また、日射による急激な温度変化の影響を抑える目的で、ポリエチレン製の断熱材で被覆した。



写真 6 鉛直材の施工

(7) グラウンドアンカーおよびアンカーアバットの施工

アンカーアバットは架設時に生じる水平力を、補剛桁およびバックステー材を介して、グラウンドアンカーに伝達させる機能を有しており、本橋の架設では重要な構造物である。したがって仮設構造物であるが、躯体に加わる作用力に対して十分に安定した構造とした。一般に、アンカー位置はエンドポスト付近に斜部材を設け、その先に設置することが多い。しかし本橋はエンドポストが高く、また、P1 - P2間では現国道があるため、エンドポスト付近には斜部材を設置することが困難である。また、P1およびP4位置に斜部材を設けた場合でも、グラウンドアンカー位置は橋台付近となり、斜部材の解体等、施工が困難となる。このため、アンカーアバットは、橋台の背面に設置した。グラウンドアンカーは、1本当たり設計緊張力で約1500kNクラスを、A1側で24本、A2側で28本を配置した。

アンカー構造体の確実な施工のため、次の施工進捗毎に、調査・試験を行い対処した。

アンカー体施工前に、ボーリング調査を行いアンカー体の基礎岩盤位置の確認を行った。

地山の掘削完了後、岩盤の平板載荷試験および、グラウンドアンカーの引抜き試験を実施し、アンカーアバットの安定性の確認、および、アンカー定着部と地山との付着強度（周面摩擦抵抗値）の確認を行った。

アンカー体施工完了後、グラウンドアンカーの引き抜き試験を全本数行い、設計緊張力の確認を行った。

グラウンドアンカーの緊張作業は、施工ステップに合わせて作用する水平力とアンカー張力とをバランスさせながら、A1側で4回、A2側で3回に分けて緊張を行った。



写真 7 アンカーアバットの施工



写真 8 バックステー部材（水平梁）

4. 計測工

(1) 概要

本橋の張出し架設工法は、アーチ部材が閉合するまでは構造的に不安定な状態である。施工段階においては、構造系が逐次変化するとともに、部材の応力状態および変位は複雑な挙動を示す。このため、各部材の計測を実施し、安全性、施工精度を確保し施工にあたった。図-8に計測器配置を示す。また、変位の観測管理は、自動変位計測システムを導入した。光波測量計（自動追尾トータルステーション）により、構造物の変位をリアルタイムで計測し、設計値と比較しながら施工した。

(2) 計測結果

図9に、スプリング部のコンクリート応力度を示す。応力度の推移は、設計値とほぼ一致した挙動を示しており、斜吊り材の張力調整により部材に発生する応力が緩和される効果が確認された。

図10に、P2斜吊り材の張力を示す。張力の推移も設計値と一致しており、荷重による変化、

また、張力調整による変化を確認することが出来た。

変位計測結果では、いずれの変位計測ポイントでも、設計変位量に近似して推移しており、荷重による弾性変位、斜吊り材の張力調整による変位等、施工時の妥当性が判断できた。

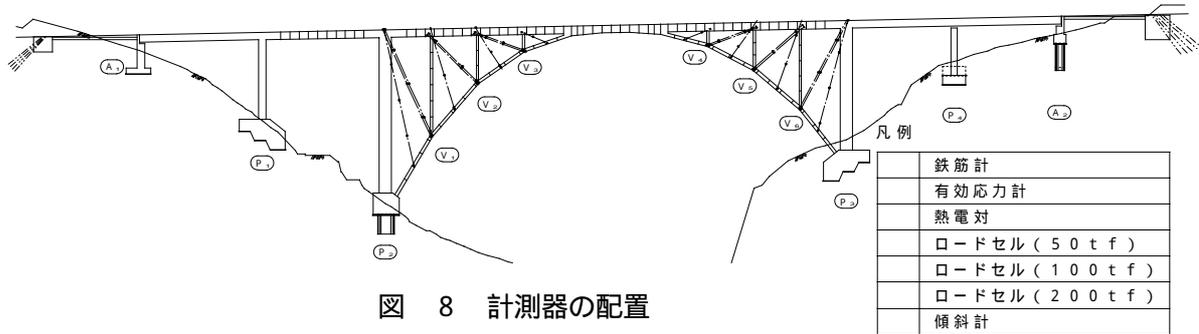


図 8 計測器の配置

5. おわりに

本橋は逆ランガー橋で初めての、メラン材を併用したトラス張出し架設にて施工を行った。また、景観的特長として、幾何学的な曲線をアーチリブの側面に施し、スレンダーで丸みのあるアーチ形状を強調し、周辺と調和のとれた、プロポジションとした。

本報告が、今後の同種工事の参考となれば幸いである。最後に、本工事に多大なご協力とご指導をいただいた関係各位に深く感謝の意を表します。

スプリング部コンクリート応力度

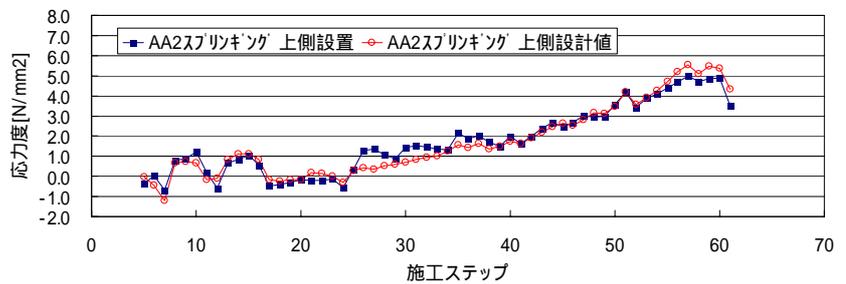


図 9 スプリング部コンクリート応力度

P2-S2斜材張力(100tf型)

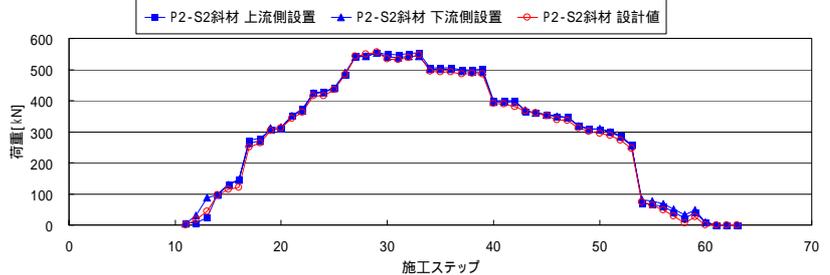


図 10 斜吊り材張力

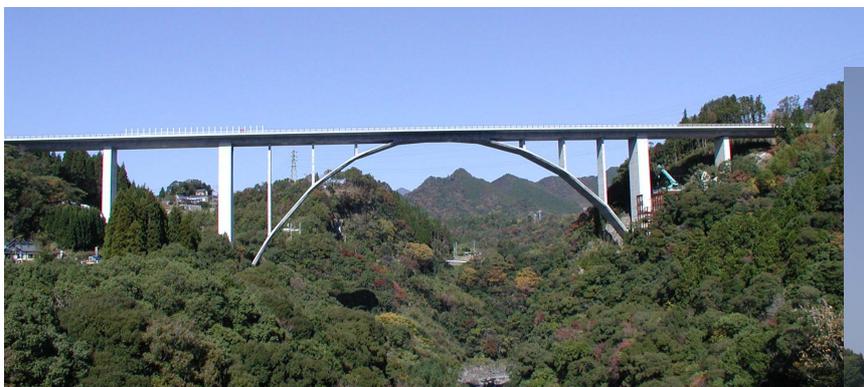
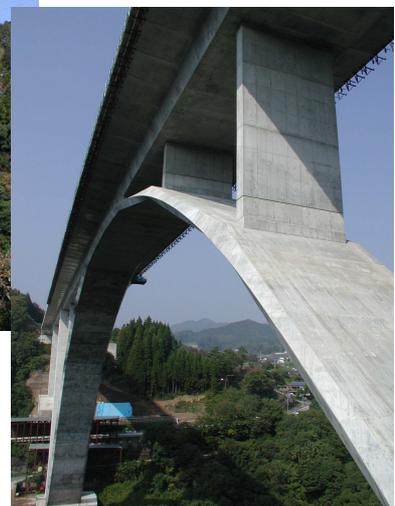


写真 9 完成全景



参考文献

- ・馬場，鶴田，入江，船川，池田：神都高千穂大橋の設計・施工 橋梁と基礎 2002 VOL.36 No.12